

An Advanced Methodology for Debris Flow Analysis in the Context of Landslide Hazard Zoning

Mariantonietta Ciurleo, Maria Clorinda Mandaglio, Nicola Moraci
mariantonietta.ciurleo@unirc.it, mamndaglio@unisa.it,
nicola.moraci@unirc.it

Landslide susceptibility zoning is becoming an important topic in scientific literature, especially in relation to land-use planning and management. The methods employed to derive landslide maps for zoning purposes are generally divided into three classes: heuristic or basic, statistical or intermediate and deterministic or advanced. Based on the method used, the scale of analysis and the zoning purpose, three zoning levels can be obtained i.e. preliminary, intermediate and advanced. For instance, when basic methods on a small scale are used, only a preliminary zoning level can be obtained while the use of intermediate and advanced methods, on a medium and large scale respectively, can allow us to achieve intermediate or advanced levels of zoning. All that considered, and with reference to a particular type of landslide called debris flow, a three-step deterministic method has been proposed. This method is based on a combination of two advanced models able to both identify the most relevant predisposing factors of debris flows in weathered gneiss and pursue an advanced level of susceptibility zoning on a large scale. The methodology, applied to a debris flow event which occurred in the province of Reggio Calabria, showed that the results obtained when combining these models are coherent with the prior-analysis of the real event. This is the starting point for a susceptibility analysis of debris flow over a large area.

THE MEDITERRANEA TOWARDS 2030
STUDIES AND RESEARCH ON HISTORICAL HERITAGE AND
ANTHROPIC LANDSCAPES, CONSERVATION AND REGENERATION

www.archistor.unirc.it

ArchistoR EXTRA 6 (2019)

ISSN 2384-8898

Supplemento di ArchistoR 12/2019

ISBN 978-88-85479-08-1

DOI: 10.14633/AHR186



Una metodologia avanzata per l'analisi dei *debris flow* nel contesto della zonazione della pericolosità da frana

Mariantonietta Ciurleo, Maria Clorinda Mandaglio, Nicola Moraci

La gestione del rischio da frana è un processo estremamente complesso che prevede la preventiva analisi e stima del rischio. L'analisi del rischio consiste in attività di natura tecnica finalizzate all'individuazione e quantificazione della suscettibilità, pericolosità e delle possibili conseguenze legate ai fenomeni franosi. Una volta effettuata l'analisi del rischio, per mezzo di criteri di tollerabilità e giudizi di valore, è possibile procedere alla stima del rischio. La gestione del rischio contempla la scelta, implementazione, monitoraggio e controllo delle diverse misure che possono essere messe in essere per la mitigazione del rischio.

Un processo così articolato e complesso non può prescindere dalla comprensione dei fattori predisponenti e delle cause innescanti i movimenti franosi ricadenti nell'area di studio. Infatti, senza una profonda comprensione di tali aspetti, qualsiasi analisi di suscettibilità, pericolosità e rischio può rivelarsi del tutto fuorviante ed inefficace.

Nel presente lavoro l'attenzione è rivolta alle colate rapide di detrito (*debris flow*) che possono essere considerate fenomeni complessi a causa dei diversi meccanismi che ne governano le fasi di innesco e di propagazione. I debris flow presentano velocità da molto ad estremamente rapide, spesso coinvolgono grandi volumi di terreno, si verificano all'interno di solchi di erosione o canali

di drenaggio di primo o secondo ordine, e possono causare morti e disastri socio-economici¹. La previsione di questi fenomeni su area vasta è difficile e la rilevanza delle conseguenze rende la valutazione della suscettibilità un aspetto fondamentale specialmente per la pianificazione territoriale². Il prerequisite chiave per una consapevole analisi e zonazione della suscettibilità, soprattutto mediante metodi avanzati³ risiede nella comprensione dei processi di innesco e di propagazione dei fenomeni franosi. A tale fine, il presente contributo propone una metodologia di analisi delle fasi di innesco e di propagazione delle frane di colata rapida di detrito che, una volta tarata su eventi reali, consente di effettuare le analisi di suscettibilità e quindi di individuare le aree dove realizzare gli interventi di mitigazione necessari per rafforzare la resilienza del territorio ai rischi legati ai disastri naturali quali le colate rapide di detrito.

La metodologia proposta si basa sull'uso combinato di due metodi fisicamente basati avanzati *Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Slope-Stability* (TRIGRS)⁴, usato per l'analisi della fase di innesco, e *Smoothed Particle Hydrodynamics* (SPH)⁵ che consente l'analisi della fase di propagazione.

Suscettibilità da frana e metodologia proposta

La prima fase del processo di gestione del rischio è rappresentato dalla valutazione della suscettibilità. L'analisi di suscettibilità, qui intesa come la probabilità spaziale che una frana di una data intensità si verifichi in una data area, può essere perseguita tramite metodi di tipo qualitativo o quantitativo, in funzione delle modalità di analisi e della modellazione dei fattori predisponenti e delle cause innescanti i fenomeni franosi⁶. L'applicabilità di ciascun metodo dipende dalla disponibilità, qualità ed accuratezza dei dati; dalla scala di analisi e dagli obiettivi richiesti⁷.

Le analisi qualitative, condotte tramite metodi euristici vengono effettuate a piccola scala (<1:100.000), consentono di individuare le relazioni esistenti tra la franosità e l'assetto geomorfologico del territorio basandosi esclusivamente sul giudizio dell'esperto.

1. HUNGR, LEROUËIL, PICARELLI 2014.

2. MANDAGLIO *ET ALII* 2015; GIOFFRÈ *ET ALII* 2016; MANDAGLIO *ET ALII* 2016; GIOFFRÈ *ET ALII* 2017.

3. GODT *ET ALII* 2008; SORBINO, SICA, CASCINI 2010; CIURLEO, CALVELLO, CASCINI 2016; CASCINI, CIURLEO, DI NOCERA 2017.

4. BAUM, SAVAGE, GODT 2002; SAVAGE, GODT, BAUM 2004.

5. PASTOR *ET ALII* 2009.

6. LEE, PARK 2016.

7. FELL *ET ALII* 2008, p. 89; CASCINI 2015, p. 65.

Le analisi quantitative possono essere divise in metodi statistici e deterministici⁸. I metodi statistici, applicabili a differenti scale di analisi (da 1:100.000 a 1:5000), stabiliscono le relazioni esistenti tra i fattori predisponenti la franosità ed i fenomeni stessi attraverso l'uso di indicatori statistici⁹, trascurando la modellazione dei meccanismi di rottura e di propagazione del fenomeno franoso¹⁰.

I metodi deterministici, applicabili alle scale maggiori o uguali di 1:5000, analizzano compiutamente i meccanismi di rottura ed evoluzione dei fenomeni franosi attraverso modelli fisicamente basati che sono calibrati per mezzo di prove geotecniche in sito e di laboratorio¹¹.

La metodologia proposta nel presente lavoro si basa sull'utilizzo di metodi deterministici e parte dall'identificazione delle frane, in termini di tipologia e geometria, considerando i dati di pioggia che hanno innescato l'evento¹². Tale metodologia, si articola in tre fasi (fase I, II, III) in cui ogni fase successiva considera l'output della fase precedente come dato di input (fig. 1).

La fase I consiste nella creazione di un database per l'analisi geotecnica di stabilità ed ha l'obiettivo di identificare il campo di variazione dei parametri di input da usare nelle fasi II e III.

La fase II analizza le aree di innesco dei *debris flow* attraverso l'uso del modello fisicamente basato su area vasta TRIGRS, che accoppia un modello di infiltrazione¹³ ad un modello di stabilità del pendio indefinito capace di calcolare il fattore di sicurezza in ogni cella del dominio di analisi. In questa fase, devono essere condotte diverse analisi parametriche variando i dati in ingresso all'interno del campo di variazione identificato nella fase I. In uscita, TRIGRS consente di identificare le celle instabili ($FS \leq 1$) da quelle stabili ($FS > 1$) e di quantificare il volume di terreno iniziale mobilitato dall'innesco.

8. SOETERS, VAN WESTEN 1996.

9. BAEZA, COROMINAS 2001; CIURLEO, CALVELLO, CASCINI 2016; CIURLEO, CASCINI, CALVELLO 2017; BORRELLI, CIURLEO, GULLÀ 2018.

10. PARK, LEE, WOO 2013.

11. SALCIARINI, GODT, SAVAGE 2006; GODT ET ALII 2008.

12. CIURLEO ET ALII 2019, pp. 33-35.

13. IVERSON 2000; BAUM, SAVAGE, GODT 2002.

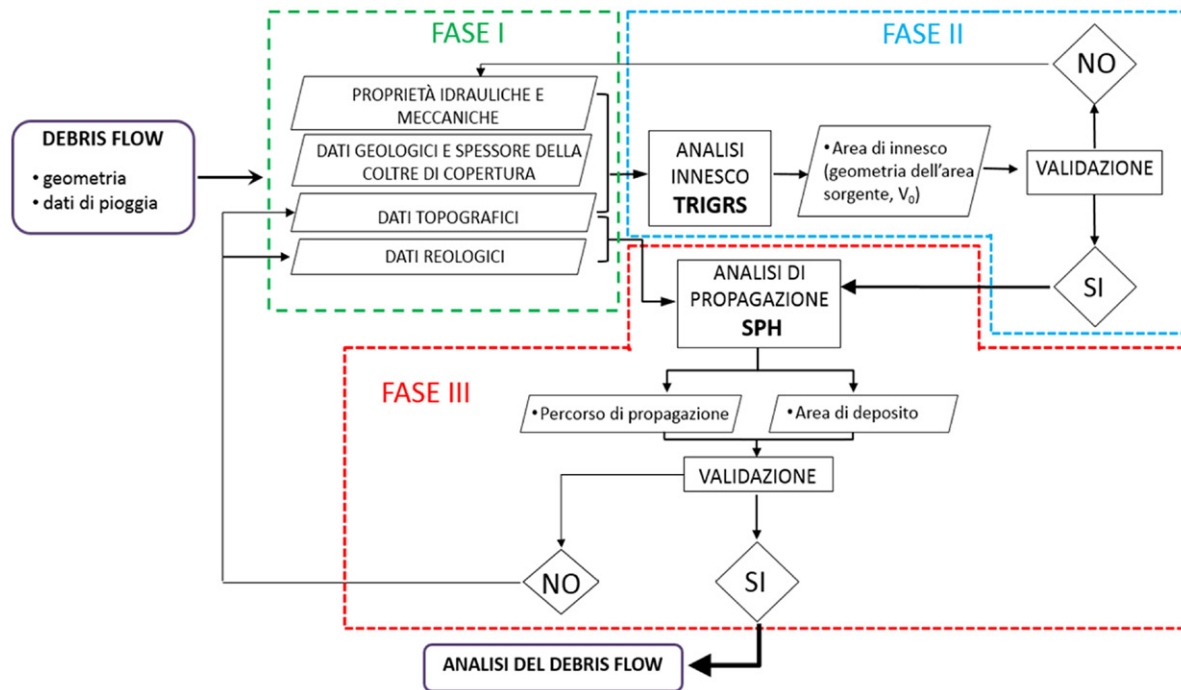


Figura 1. Diagramma di flusso (elaborazione a cura degli autori, 2019).

La migliore performance della fase di innesco è stata scelta per mezzo di un indice adimensionale (I_{trig}) definito come segue:

$$I_{trig} = \frac{A_{UTL}}{A_{TL}} \cdot 100 \quad (1)$$

dove A_{TL} sono le aree d'innesco identificate dall'inventario frane (aree d'innesco osservate); A_{UTL} sono le aree calcolate come instabili e localizzate all'interno di A_{TL} .

La fase II termina quando I_{trig} assume valori superiori ad 80%¹⁴, ed in uscita fornisce i valori dei volumi iniziali mobilitati dall'innesco dei debris flow (V_0) che possono essere considerati tra i più importanti dati di ingresso da usare nella fase III.

La fase III consiste nella analisi sia del percorso di propagazione sia dell'area di deposito finale ed è stata implementata attraverso l'utilizzo del codice numerico SPH. Il modello necessita come dati di ingresso sia dei volumi d'innesco identificati nella fase II sia dei parametri del modello reologico e del Modello di Elevazione Digitale (DEM) dell'area oggetto di studio.

L'output delle analisi con SPH consiste nell'identificare la forma ed il volume finale dell'area di deposito, il percorso di propagazione, la distanza percorsa e la velocità lungo il percorso di propagazione e quindi anche in corrispondenza delle sezioni significative della massa in movimento.

La validazione delle analisi numeriche si effettua per mezzo di due indici adimensionali definiti per le fasi di propagazione (I_{prop}) e di deposito (I_{deo}), come segue:

$$I_{prop} = \frac{A_{SR}}{A_{TR}} \cdot 100 \quad (2)$$

$$I_{dep} = \frac{A_{SDF}}{A_{TDF}} \cdot 100 \quad (3)$$

dove: A_{TR} è l'area di propagazione censita, A_{SR} è l'area di propagazione calcolata numericamente e localizzata in A_{TR} , A_{TDF} è l'area di deposito cartografata dopo gli eventi ed A_{SDF} è l'area di deposito simulata numericamente e localizzata in A_{TDF} .

Area di studio

L'area di studio è localizzata nella frazione di Favazzina, del comune di Scilla. Tale area è caratterizzata dalla diffusa presenza di terreni residuali, colluviali e detritici (Classe VI)¹⁵ che risultano quelli maggiormente interessati dall'innesco dei *debris flow* (fig. 2).

Tra i fenomeni franosi più significativi che hanno interessato tale area, si ricordano, gli eventi del maggio 2001 e del marzo 2005, già studiati da diversi autori¹⁶.

14. CIURLEO, MANDAGLIO, MORACI 2019, p. 185.

15. GCO 1988.

16. BORRELLI ET ALII 2012; GIOFFRÈ ET ALII 2016.

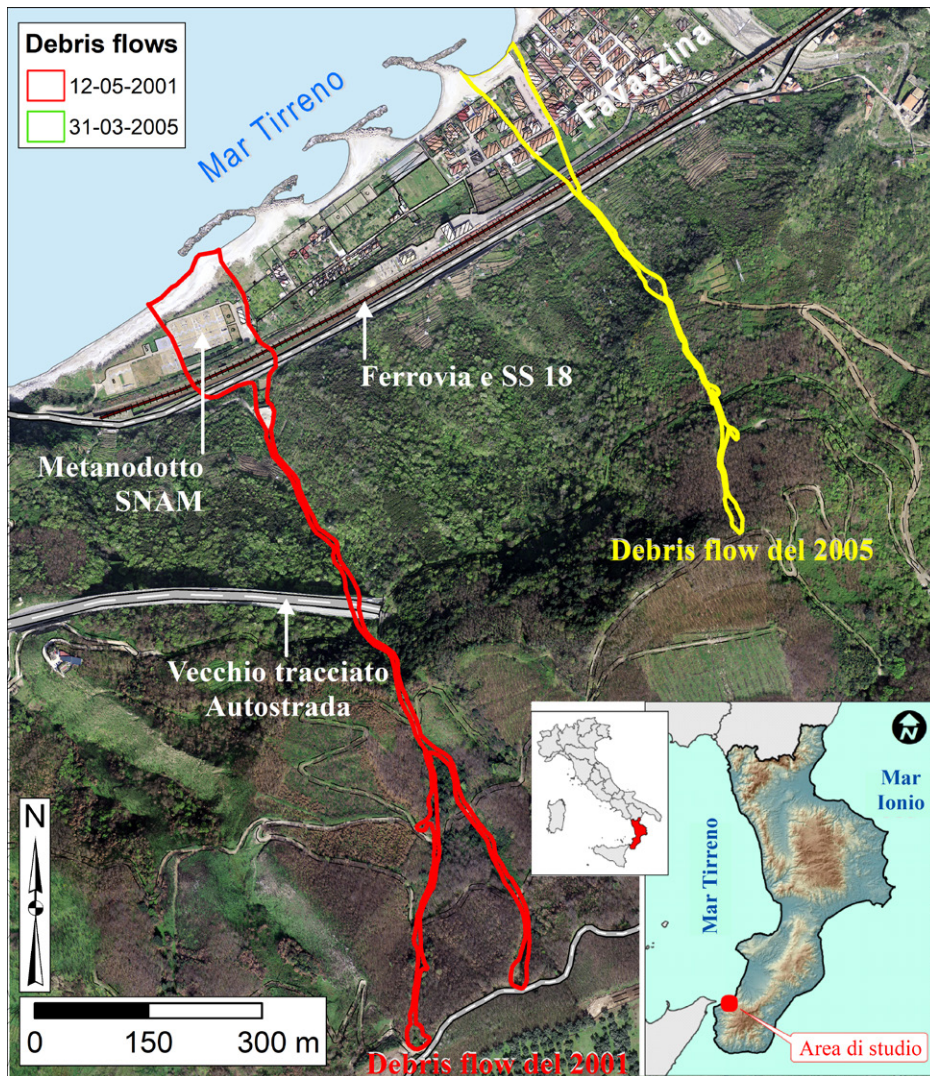


Figura 2. Localizzazione geografica dell'area di studio di Favazzina ed ortofoto dei *debris flow* avvenuti nel 2001 e nel 2005 (elaborazione a cura degli autori, 2019).

γ (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	e	n	S (%)	c' (kPa)	ϕ' (°)	K_{sat} (m/s)	θ_{sat}
15-20	19-22	12.5-16	0.65-1.15	0.4-0.55	43-99	0 - 5	30 - 44	1.27E-06 - 6.60E-05	0.38-0.4

Tabella 1. Proprietà fisiche, meccaniche ed idrauliche degli gneiss di classe VI.

Durante l'evento del 12 maggio 2001, due frane traslazionali si sono innescate alla testata del vallone Favagrega a quote diverse in corrispondenza di due incisioni che si congiungono a circa 300 m s.l.m. Le due frane traslazionali sono evolute in una colata rapida di fango e detrito che ha investito la stazione SNAM del metanodotto, la strada statale (SS18) e la ferrovia causando il deragliamento del treno IC Torino – Reggio Calabria (fig. 2).

Il 31 marzo 2005, un fenomeno simile si è innescato sul versante in corrispondenza dell'abitato di Favazzina. È stato caratterizzato da tre frane traslazionali, rispettivamente a 412 m, 284 m e 212 m s.l.m. ed è evoluto in colata (fig. 2). Tale colata ha causato diversi danni alle abitazioni della frazione di Favazzina, alle infrastrutture di trasporto ed il deragliamento del treno IC Reggio Calabria-Milano.

Per quanto riguarda i dati di pioggia, si è fatto riferimento alla stazione pluviometrica di Scilla che ha registrato una pioggia cumulata pari a 20 mm, il giorno dell'evento del 2001, e 13.4 mm, il giorno dell'evento del 2005.

Analisi e risultati

Fase I

I *debris flow* del 2001 e del 2005 hanno coinvolto prevalentemente terreni di alterazione di Classe VI il cui spessore nell'area di innesco è di circa 1.5 m. I terreni in esame possono essere classificati, secondo la Unified Soil Classification System (USCS), come sabbia limosa (SM) e limo inorganico (ML). Da un punto di vista geotecnico, le proprietà fisiche, meccaniche ed idrauliche dei terreni di classe VI sono sintetizzati in Tabella 1¹⁷.

17. SCHILIRÒ, ESPOSITO, SCARASCIA MUGNOZZA 2015; CIURLEO, MANDAGLIO, MORACI 2019, p. 181.

γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	Thickness of class VI (m)	K_{sat} (m/s)	D_0 (m ² /s)	θ_{sat}
20	0 – 5	30 - 40	1.5	1.75E-05	7.92E-05	0.39

Tabella 2. Dati di input di TRIGRS (da CIURLEO *ET ALII* 2019).

I parametri del modello reologico di Bingham (τ_0 e μ_b) sono stati ricavati da prove con viscosimetro per differenti valori della concentrazione solida in volume (C_v)¹⁸.

Fase II

I dati necessari per condurre l'analisi di stabilità utilizzando TRIGRS sono: il modello digitale del terreno (DEM) a scala 1:5000, lo spessore dei terreni che, secondo le indagini in sito, è stato considerato pari a 1.5 m e costante per l'intera area di studio; le proprietà geotecniche dei terreni di classe VI (Tab. 2).

Per quanto riguarda il regime delle pressioni interstiziali, a causa della carenza di dati geotecnici la falda acquifera è stata assunta a piano campagna nella parte alta del versante ed al contatto tra la classe VI ed i terreni meno alterati nella parte rimanente dell'area di studio¹⁹.

Sono state condotte diverse analisi parametriche per ciascun evento di frana (2001 e 2005) considerando differenti scenari: i) un valore costante (pari al valore medio) dell'angolo di resistenza a taglio ($\phi' = 38^\circ$) facendo variare la coesione efficace tra 0 kPa e 2.5 kPa; ii) un valore costante di coesione efficace, pari al valore medio di 2.5 kPa, facendo variare l'angolo di resistenza a taglio da 30° a 38° . Tutti i casi sono stati implementati considerando i valori medi dei parametri idraulici ($K_{sat} = 1.79E-05$ m/s, $D_0 = 7.92E-05$ m²/s, e $\theta_{sat} = 0.39$).

Per entrambi i fenomeni, i risultati ottenuti mostrano che il migliore accordo tra le aree d'innesco reali e quelle simulate è stato ottenuto considerando un valore medio di coesione ($c' = 2.5$ kPa) ed il valore minimo dell'angolo di resistenza a taglio ($\phi' = 30^\circ$). In particolare, con riferimento al fenomeno del 2001 è stato calcolato un $I_{trig} = 90.5\%$ con volumi di innesco pari a 900 m³ and 1125 m³ (innesco 1 e 2 in fig. 3a); mentre per il fenomeno del 2005 si ottiene un $I_{trig} = 94.5\%$ ed i volumi di innesco calcolati sono 325 m³, 187 m³ and 761 m³ (innesco 3, 4 e 5 in fig. 3b).

18. MORACI *ET ALII* 2017.

19. CIURLEO, MANDAGLIO, MORACI 2019, p. 182.

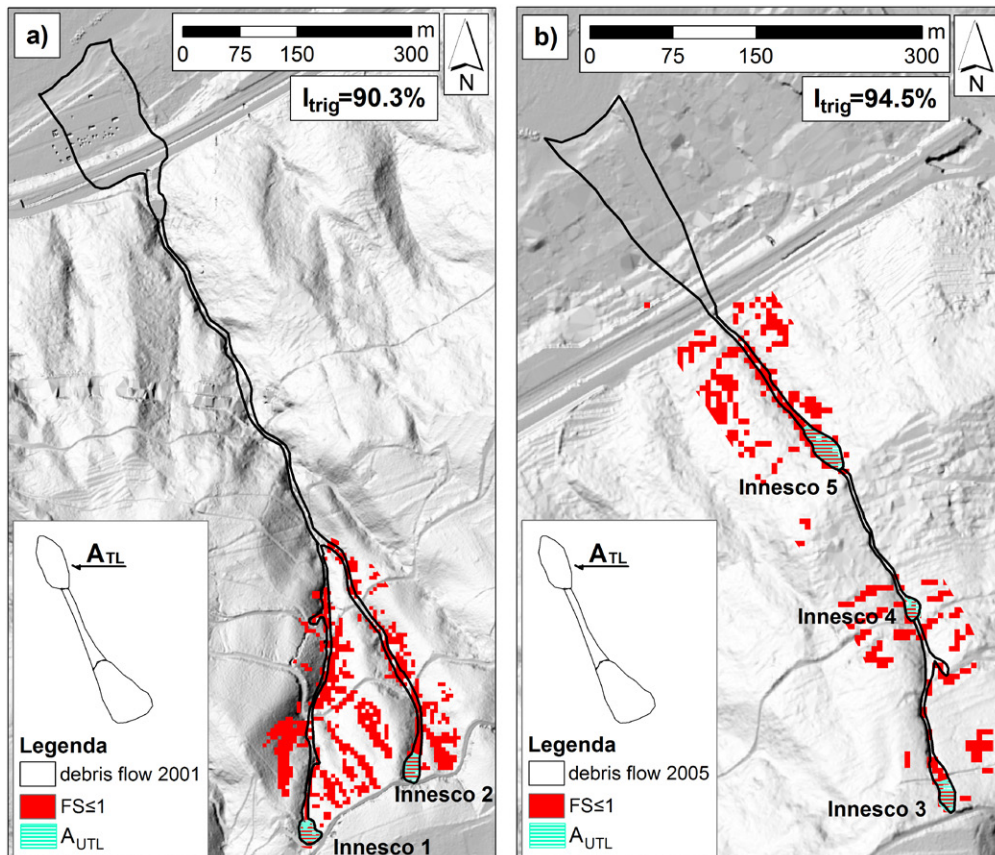


Figura 3. Risultati fase II. a) *debris flow* del 2001; b) *debris flow* del 2005 (elaborazione a cura degli autori, 2019).

C_v (%)	τ_0 (Pa)	μ_b (Pa·s)	E_s (m ⁻¹)
55 - 60	357 - 690	87 - 198	0.001 – 0.002

Tabella 3. Dati di input di SPH (elaborazione a cura degli autori, 2019).

Fase III

I dati necessari per analizzare la fase di propagazione (utilizzando il codice SPH) sono il volume d'innesco (stimato in fase II), il modello digitale di superficie (DSM, scala 1:1000), i parametri del modello reologico (ricavati sperimentalmente in fase I) e il tasso di erosione (Tab. 3). Quest'ultimo è stato implementato attraverso il parametro *growth rate* E_s^{20} che è funzione del volume finale del materiale mobilitato, di quello iniziale e della distanza percorsa dal debris flow.

La fase III si è basata su un'analisi iterativa dei parametri reologici e del coefficiente di erosione. I parametri reologici sono stati fatti variare per mezzo di C_v nel campo di variazione riportato in Tabella 3 ed in accordo con la classificazione proposta da Pierson e Costa (1987), mentre E_s è stato calibrato facendolo variare tra 0.001 e 0.002 m⁻¹.

I risultati delle simulazioni sono state confrontate con la perimetrazione reale dei debris flow. La simulazione che meglio approssima l'evento del 2001 è quella ottenuta considerando un valore di $C_v = 55\%$ ed $E_s = 0.00135$ m⁻¹ che presenta valori di I_{prop} pari al 100% e di I_{dep} pari a circa 60% (fig. 4a).

Per quanto riguarda il fenomeno del 2005 la simulazione che meglio approssima l'evento reale è stata ottenuta considerando $C_v = 52\%$ ed $E_s = 0.0018$ m⁻¹ e presenta valori di $I_{prop} = 100\%$ e di $I_{dep} = 75\%$ (fig. 4b).

Conclusioni

Il lavoro svolto presenta una metodologia per l'analisi dei debris flow. I risultati ottenuti in termini di I_{trig} , I_{prop} ed I_{dep} mostrano una buona prestazione della metodologia proposta considerando sia le zone di innesco sia il percorso dei debris flow. In particolare, i valori di I_{trig} risultano essere pari a 90.5% per il fenomeno del 2001 e 94.5% per il fenomeno del 2005 ed entrambi superiori al valore soglia pari a 80%. I valori di I_{prop} si sono rivelati pari al 100% per entrambi i fenomeni simulati, a testimonianza del fatto che i modelli numerici simulano in modo molto accurato la fase di propagazione dei fenomeni reali.

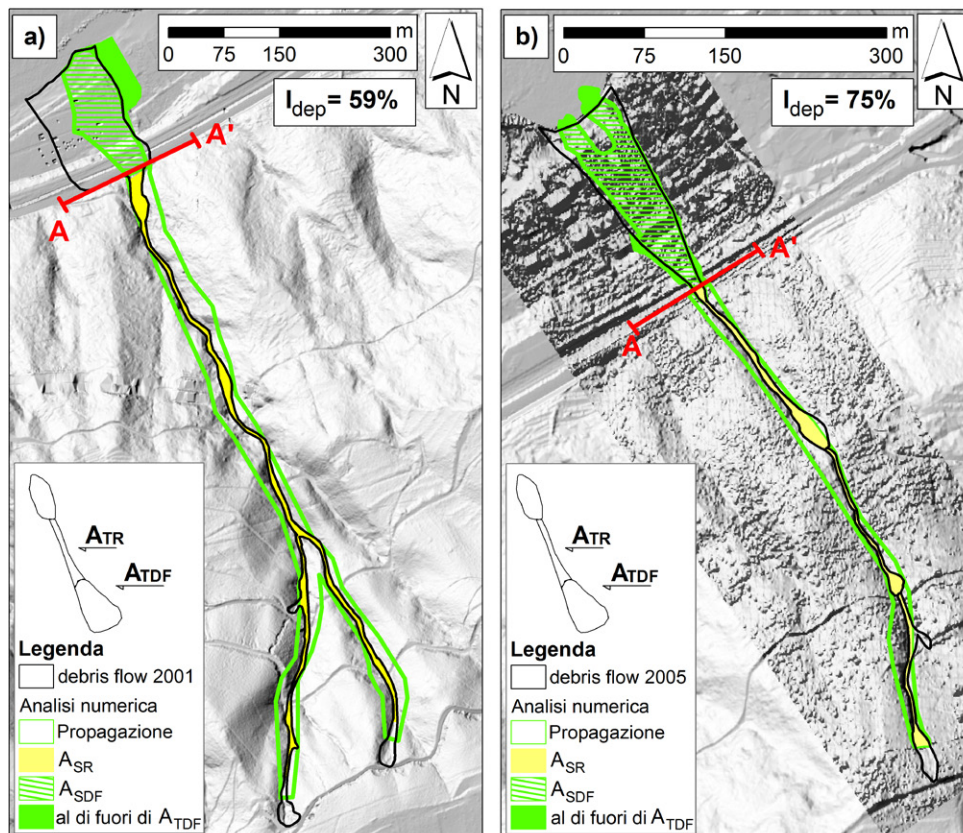


Figura 4. Risultati fase III. a) *debris flow* del 2001; b) *debris flow* del 2005 (elaborazione a cura degli autori, 2019).

Per quanto riguarda l'area di deposito finale, l'evento del 2005 mostra un I_{dep} pari a 75%, il materiale si deposita a valle ricalcando quasi integralmente l'area di deposito dell'evento reale. L'analisi del fenomeno del 2001 mostra un valore di I_{dep} più basso e pari a circa il 60%.

La metodologia proposta, tarata con successo sui due eventi reali, può essere facilmente esportata su area vasta per le analisi di suscettibilità e pericolosità e consente di rafforzare la resilienza del territorio ai rischi legati alle colate rapide di detrito.

Bibliografia

BAEZA, COROMINAS 2001 - C. BAEZA, J. COROMINAS, *Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques*, in «Earth Surface Processes Landforms», 2001, 26, pp. 1251-1263.

BAUM, SAVAGE, GODT 2002 - R.L. BAUM, W.Z. SAVAGE, J.W. GODT, *TRIGRS-A FORTRAN program for transient rainfall infiltration and grid-based regional slope-stability analysis*, in «US Geological Survey Open-File Report 02-0424», 2002, pp. 1-81.

BORRELLI ET ALII 2012 - L. BORRELLI ET ALII, *Suscettibilità alle frane superficiali veloci in terreni di alterazione: un possibile contributo della modellazione della propagazione*, in «Rendiconti Online Società Geologica Italiana», 2012, 21, pp. 534-536.

BORRELLI, CIURLEO, GULLÀ 2018 - L. BORRELLI, M. CIURLEO, G. GULLÀ, *Shallow landslide susceptibility assessment in granitic rocks using GIS-based statistical methods: the contribution of the weathering grade map*, in «Landslides», 2018, 15, pp. 1127-1142.

CASCINI 2015 - L. CASCINI, *Geotechnics for urban planning and land use management*, in «Rivista Italiana di Geotecnica», 2015, 49, pp. 7-62.

CASCINI, CIURLEO, DI NOCERA 2017 - L. CASCINI, M. CIURLEO, S. DI NOCERA, *Soil depth reconstruction for the assessment of the susceptibility to shallow landslides in fine-grained slopes*, in «Landslides», 2017, 14, pp. 459-471.

CIURLEO, CALVELLO, CASCINI 2016 - M. CIURLEO, M. CALVELLO, L. CASCINI, *Susceptibility zoning of shallow landslides in fine grained soils by statistical methods*, in «Catena», 2016, 139, pp. 250-264.

CIURLEO, CASCINI, CALVELLO 2017 - M. CIURLEO, L. CASCINI, M. CALVELLO, *A comparison of statistical and deterministic methods for shallow landslide susceptibility zoning in clayey soils*, in «Engineering Geology», 2017, 223, pp. 71-81.

CIURLEO, MANDAGLIO, MORACI 2019 - M. CIURLEO, M.C. MANDAGLIO, N. MORACI, *Landslide susceptibility assessment by TRIGRS in a frequently affected shallow instability area*, in «Landslides», 2019, 16, pp. 175-188.

CIURLEO ET ALII 2019 - M. CIURLEO ET ALII, *A method to evaluate debris flow triggering and propagation by numerical analyses*, in F. CALVETTI ET ALII (a cura di), *Research for Land Protection and Development*, Atti della Conferenza Nazionale dei Ricercatori di Ingegneria Geotecnica *Geotechnical, Research for Land Protection and Development* (Lecco, 3-5 Luglio 2019), Springer, Cham 2019, pp. 33-41, https://doi.org/10.1007/978-3-030-21359-6_4 (ultimo accesso 26 ottobre 2019).

FELL ET ALII 2008 - R. FELL ET ALII, *Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning on behalf of the JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes*, in «Engineering Geology», 2008, 102, pp. 85-98.

GCO 1988 - GCO, *Geoguide 3: guide to rock and soil descriptions. Geotechnical Control Office (GCO)*, Civil Engineering Services Department, Hong Kong 1988.

GIOFFRÈ ET ALII 2016 - D. GIOFFRÈ ET ALII (a cura di), *Numerical code calibration for the back analysis of debris flow runout in southern Italy, in Landslides and Engineered Slopes. Experience, theory and practice*, Atti del 12° Simposio Internazionale sulle frane (Napoli, 12-19 Giugno 2016), Taylor & Francis Group CRC Press, London 2018, pp. 991-997.

GIOFFRÈ ET ALII 2017 - D. GIOFFRÈ ET ALII, *Evaluation of rapid landslide impact forces against sheltering structures*, in «Rivista Italiana di Geotecnica», 2017, 3, pp. 79-91.

GODT ET ALII 2008 - J.W. GODT ET ALII, *Transient deterministic shallow landslide modeling: requirements for susceptibility and hazard assessments in a GIS framework*, in «Engineering Geology», 2008, 102, pp. 214-226.

- HUNGR 1995 - O HUNGR, *A model for the runout analysis of rapid flow slides, debris flows and avalanches*, in «Canadian Geotechnical Journal», 1995, 32, pp. 610-623.
- HUNGR, LEROUÉIL, PICARELLI 2014 - O. HUNGR, L. PICARELLI, S. LEROUÉIL, *The Varnes classification of landslides-an update*, in «Landslides», 2014, 11, pp. 167-194.
- IVERSON 2000 - R.I. IVERSON, *Landslide triggering by rain infiltration*, in «Water Resources Research», 2000, 36, pp. 1897-1910.
- LEE, PARK 2016 - J.H. LEE, H.J. PARK, *Assessment of shallow landslide susceptibility using the transient infiltration flow model and GIS-based probabilistic approach*, in «Landslides», 2016, 13, pp. 885-903.
- MANDAGLIO ET ALII 2015 - M.C. MANDAGLIO ET ALII (a cura di), *Susceptibility analysis of rapid flow-slides in southern Italy*, Atti del Convegno Internazionale *International Symposium on Geohazards and Geomechanics* (Warwick, 10 -11 settembre 2015), IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Warwick 2015.
- MANDAGLIO ET ALII 2016 - M.C. MANDAGLIO ET ALII, *Qualitative landslide susceptibility assessment in small areas*, in *Geotechnical Engineering in Multidisciplinary Research: from Microscale to Regional Scale*, Atti della VI Conferenza Nazionale dei ricercatori di Ingegneria Geotecnica (Bologna, 22-23 settembre), Science direct Procedia Engineering Elsevier, Bologna 2016, pp. 440-445.
- MORACI ET ALII 2017 - N. MORACI ET ALII, *Debris flow susceptibility zoning: an approach applied to a study area*, in «Rivista Italiana di Geotecnica», 2017, 2, pp. 47-62.
- PARK, LEE, WOO 2013 - H.J. PARK, J.H. LEE, I. WOO, *Assessment of rainfall-induced shallow landslide susceptibility using a GIS-based probabilistic approach*, in «Engineering Geology», 2013, 161, pp. 1-15.
- PASTOR ET ALII 2009 - M. PASTOR ET ALII, *A depth integrated coupled SPH model for flow-like landslides and related phenomena*, in «International Journal for Numerical and Analytical Methods in «Geomechanics», 2009, 33/2, pp. 143-172.
- PIERSON, COSTA 1987 - T.C. PIERSON, J.E. COSTA, *A rheologic classification of subareal sediment flows*, in J.E. COSTA, WIECZORECK (eds), *Reviews in engineering geology. VII Debris flow/Avalanches: process, recognition and mitigation*, vol 7. Geological Society of America, Boulder, Colorado 1987, pp. 1-12.
- SALCIARINI, GODT, SAVAGE 2006 - D. SALCIARINI, J.W. GODT, W.Z. SAVAGE, *Modeling regional initiation of rainfall induced shallow landslides in the eastern Umbria Region of central Italy*, in «Landslides», 2006, 3, pp. 181-194.
- SCHILIRÒ, ESPOSITO, SCARASCIA MUGNOZZA 2015 - L. SCHILIRÒ, C. ESPOSITO, G. SCARASCIA MUGNOZZA, *Evaluation of shallow landslide triggering scenarios through a physically based approach: an example of application in the southern Messina area (north eastern Sicily, Italy)*, in «Natural Hazards Earth System Science», 2015, 15, pp. 2091-2109.
- SOETERS, VAN WESTEN 1996 - R. SOETERS, C.J. VAN WESTEN, *Slope instability recognition, analysis and zonation*, in A.K. TURNER, R.L. SCHUSTER (a cura di), *Landslides, investigation and mitigation (Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247)*, National Academy Press, Washington D.C., USA 1996, pp. 129-177.
- SORBINO, SICA, CASCINI 2010 - G. SORBINO, C. SICA, L. CASCINI, *Susceptibility analysis of shallow landslides source areas using physically based models*, in «Natural Hazards», 2010, 53, pp. 313-332.